



Efecto de la variedad, frecuencia de remoción y tiempo de fermentación en el rendimiento y calidad de granos de cacao, evaluado mediante visión computacional

Effect of the variety, frequency of removal and time of fermentation on the yield and quality of cocoa beans, evaluated by computer vision

Polito Michael Huayama Sopla ^{1, *} ; Raúl Siche ²

¹ Instituto de Investigación Cooperativo de Café y Cacao, Universidad Nacional de Jaén. Jr. Cuzco N° 250-Pueblo Libre. Jaén, Cajamarca, Perú.

² Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Nacional de Trujillo. Av. Juan Pablo II s/n, Trujillo, Perú.

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la variedad, frecuencia de remoción y tiempo de fermentación en el rendimiento y calidad de granos de cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante visión computacional, los granos se acondicionaron en 15 cajones de madera de 1 kg según diseño experimental de Box-Behnken, se trabajó con tres variedades: CCN-51-Rojo, CCN-51-Amarillo y Nacional, frecuencia de remoción cada 12, 24 y 36 horas y fermentado durante 4, 6 y 8 días, se analizaron las muestras de granos durante la fermentación, los resultados indican que la variedad CCN-51-Rojo es de mayor rendimiento, la mejor fermentación se realizó con la variedad CCN-51-Amarillo, frecuencia de remoción cada 24 horas y fermentado por 6 días con un pH = 5,244 y % de acidez de 2,292, el análisis de visión computacional de los valores optimizados de la fermentación varían linealmente para granos enteros: ΔL^* de blanco a negro, Δa^* de verde a rojo, Δb^* de azul a verde, para granos partidos: ΔLm^* de negro a blanco, Δam^* de roja a verde, Δbm^* de amarillo a azul. Se obtuvo una técnica de predicción de buen desempeño, basada en visión computacional, que predice el rendimiento y la calidad de granos de cacao.

Palabras clave: fermentación; cacao; visión computacional; análisis de imagen; metodología de superficie respuesta.

ABSTRACT

The effect of the variety, frequency of removal and fermentation time on the yield and quality of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) was evaluated by computer vision, the grains were packed in 15 wooden crates of 1 kg, according to experimental design of Box-Behnken, we worked with three varieties: CCN-51-Rojo, CCN-51-Amarillo y Nacional, removal frequency every 12, 24 and 36 hours and fermented for 4, 6 and 8 days, grain samples were analyzed during fermentation, the results indicate that the variety CCN-51-Rojo has a higher yield, the best fermentation was carried out with the CCN-51-Amarillo variety, removal frequency every 24 hours and fermented for 6 days with a pH = 5.244 and % acidity of 2.292, the analysis of Computer vision of the optimized fermentation values vary linearly for whole beans: ΔL^* from white to black, Δa^* from green to red, Δb^* from blue to green, for split beans: ΔLm^* from black to white, Δam^* from red to green, Δbm^* from yellow to blue. A good performance prediction technique, based on computer vision, was obtained that predicts the yield and quality of cocoa beans.

Keywords: fermentation; cocoa; computational vision; image analysis; surface response methodology.

1. Introducción

La tendencia actual del control de calidad de alimentos se basa en el uso de herramientas digitales de mayor precisión, es el caso de visión computacional, que se ha utilizado para medir el color $L^*a^*b^*$ en alimentos de superficie plana (software y hardware), que constaba de dos fases: a) adquisición de imágenes y b) procesamiento y análisis de imágenes (Saldaña *et al.*, 2013).

Por otro lado, el cacao es un alimento rico en minerales, vitaminas y fibra, tiene propiedades nutricionales y terapéuticas, aprovechadas para la elaboración de diversos productos, su nombre científico (*Theobroma Cacao* L.), sugerido por el botánico sueco Carlos Linneo, significa en griego "alimento de los dioses" (Romero, 2016). El Perú está clasificado según el Convenio Internacional del Cacao, como el segundo país productor y exportador de cacao fino, después de Ecuador

(Romero, 2016), la producción alrededor del 44% corresponde a cacao fino (Criollo+Nativo) y el 56% al cacao corriente o común (CCN-51+Forastero) (MINAGRI, 2014).

En la cadena productiva del cacao las actividades de producción, manejo y procesamiento afectan el desarrollo del sabor y de la calidad (Somarriba, 2012). La fermentación es una fase indispensable en el beneficio del cacao, ya que en ella se desarrollan los precursores del aroma y sabor a chocolate, esta etapa es afectada por el tipo de cacao, tiempo de almacenamiento del fruto, método y tipo de fermentación, tiempo del proceso y frecuencia de remoción (Ortiz et al., 2009), origen genético del cacao, intervalo entre cosechas, cantidad de cacao a fermentar, cantidad de pulpa en la semilla, las condiciones del medio donde se realiza el proceso (Guiérrez, 2012), longitud, velocidad de fermentación, pilas de tamaño de granos de cacao, la reversión, aeración y tiempo (Utami et al., 2015). El proceso de fermentación se realiza tradicionalmente usando distintos sistemas (Álvarez et al., 2010). El tiempo de fermentación está relacionado con el tipo de cacao, el criollo tarda de 2 a 3 días y el forastero de 5 a 8 días (Ortiz et al., 2009). Utami et al. (2015) indica que el proceso de fermentación se divide en dos fases, la primera (0 a 48 h) y la de avance (48 -120 h). El aumento de la temperatura de fermentación es ocasionado por las reacciones exotérmicas en el grano y el aumento de la actividad microbiana (Álvarez et al., 2010), siendo responsable de la muerte del embrión y del inicio de las reacciones enzimática en los tejidos del cotiledón, dando origen a los precursores de sabor y aroma a chocolate (Guiérrez, 2012). Las comunidades microbianas asociadas a la fermentación de cacao se componen principalmente de *Acetobacter* y *Lactobacillus* (Bortolini et al., 2016), levaduras, bacterias de ácido láctico, y bacterias de ácido acético que viene desde el entorno (Illegheims et al., 2016). Al fermentar los granos, el color cambia a una tonalidad parda, que difiere entre los tipos de cacao, el cual es producido por la hidrólisis de la antocianina la posterior oxidación de las agliconas resultantes a compuestos quinónicos, los cuales contribuyen al color pardo característico de un cacao fermentado (Álvarez et al., 2010). La muerte del embrión causa la pérdida de las facultades germinativas de los granos de cacao, los cambios bioquímicos llevan a la formación de moléculas precursoras y cambios de color internos de púrpura a marrón (Tagro et al., 2010). El

proceso de fermentación de granos de cacao determina el tipo y la concentración de los precursores del sabor del cacao, aminoácidos libres y sobre todo péptidos bajo la proteólisis (Van Durme et al., 2016).

El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la variedad, frecuencia de remoción y tiempo de fermentación en el rendimiento y calidad de granos de cacao (*Theobroma cacao* L.), mediante visión computacional.

2. Material y métodos

Se utilizaron 3 variedades de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN-51-Rojo, CCN-51-Amarillo y Nacional, procedente de Jaén, Cajamarca, Perú. Las muestras cosechadas fueron trasladadas al Laboratorio de Ingeniería de Procesos Agroindustriales de la Universidad Nacional de Trujillo, donde se realizó clasificación (por variedad, tamaño, estado de madurez y daños físicos), lavado y secado. Se extrajeron los granos realizando un corte horizontal a la mazorca, para luego ser pesados (rendimiento) y analizados (pH, % de acidez, % humedad, visión computacional (Tabla 1). Se acondicionaron y codificaron 15 cajones de madera (22x12x9) cm³, de 1 kg de capacidad, de acuerdo al diseño experimental de Box-Behnken (Tabla 3), los granos de cacao se colocaron en cajones de acuerdo a las variables de estudio (variedad de cacao, frecuencia de remoción a partir de las 48 horas de haber iniciado la fermentación y fermentación, Tabla 2). Luego de haber realizado los ensayos y con el pH y acidez; se procedió a realizar el análisis estadístico en el software Statgraphics Centurión XVI para determinar los valores óptimos de las variables usando las técnicas de optimización de respuesta superficial (Montgomery, 2004).

Análisis de visión computacional

Los granos de cacao fermentados (enteros y partidos) se analizaron mediante visión computacional para obtener los valores de $L^*a^*b^*$ y $Lm^*am^*bm^*$, Tabla 1 y 3, según esquema para convertir imágenes RGB a unidades $L^* a^* b^*$ usando CVS (Saldaña et al., 2014), las imágenes se tomaron con una cámara digital Canon T4I de 18 MP, colocada dentro de una caja de madera de (1x1x1)m³, las fotos se editaron en Paint y fueron recortadas un segmento de cada muestra, para luego ser procesada mediante un algoritmo en MATLAB R2017a, y obtener los valores numéricos de $L^* a^* b^*$ (León et al., 2006).

Con la información obtenida se obtuvieron las ecuaciones y R^2 correspondientes.

Análisis fisicoquímicos

Determinación del pH

10 g de granos de cacao se trituraron en un mortero, se añadió 100 mL de agua destilada, con una bagueta se homogenizó y se filtró, el líquido fue trasladado en un beaker a un agitador magnético para homogeneizar la muestra, introducido el electrodo se procedió a realizar la lectura del pH a temperatura ambiente con el pH-metro SI Analytics (Lab 875).

Determinación de acidez titulable total

10 g de granos de cacao se trituraron en un mortero, se añadió 250 mL de agua destilada, con una bagueta se homogenizó y se filtró, se transfirió 50 mL de la solución a un erlenmeyer de 125 mL y se agregó 1 mL de una solución de fenolftaleína al 1%, colocado en un agitador magnético se tituló con hidróxido de sodio 0,1 N hasta que aparezca una tonalidad rosa que persista por 30 segundos, pH 8,2 y se procedió a realizar la lectura, se calculó la acidez como porcentaje de ácido acético (0,060) predominante según la ecuación:

$$\% \text{ acidez} = \frac{(\text{mL NaOH})(N)(\text{meq de ácido})(\text{Vol. de dilución})}{(\text{mL de muestra})(\text{mL alicuota})} \times 100$$

Contenido de humedad

Se empleó el analizador automático de humedad A&D ML-51 para medir el % de humedad de granos de cacao, con el equipo prendido se colocó un fragmento del grano, se registró el peso inicial, con el sonido de la alarma se concluyó y se registró el peso final.

3. Resultados y discusión

El rendimiento promedio de las mazorcas de cacao empleado en la investigación fue: CCN-51-Rojo 27,82% de grano y 72,18% de cascara, CCN-51-Amarillo 25,63% de grano y 74,37% de cascara y Nacional 23,51% de grano y 76,49% de cascara.

En la [Tabla 1](#) se muestran los resultados del análisis fisicoquímico y visión computacional. En la [Tabla 2](#) se muestran los valores de las variables estudiadas en el proceso de fermentación del cacao.

Tabla 1

Análisis fisicoquímico y de visión computacional de los granos de cacao fresco

Varietal	pH	% Acidez	% Humedad	L*	a*	b*	Lm*	am*	bm*
CCN-51-Rojo	6,720	0,552	24,96	92,9046	5,3115	17,9359	91,9557	5,3573	23,9550
CCN-51-Amarillo	7,025	0,558	29,36	97,8549	0,6523	7,8807	92,0560	5,4879	22,5585
Nacional	7,054	0,316	29,19	93,3982	4,0573	20,3791	95,2796	6,7845	0,6442

L*, a* y b*: Coordenadas de visión computacional grano entero y partido.

Tabla 2

Valor de las variables evaluadas con el diseño experimental Box-Behnken

Concentración	Varietal de cacao	Frecuencia de remoción (h)	Fermentación (días)
	A	B	C
Alta (+)	21	36	8
Media (0)	14	24	6
Baja (-)	7	12	4

Varietal de cacao: CCN-51-Rojo = 21, CCN-51-Amarillo = 14 y Nacional = 7.

Los datos de la [Tabla 3](#) fueron procesados en el software Statgraphics Centurión XVI para obtener las ecuaciones respectivas:

$$\text{pH} = 10,4176 - 0,176149*A - 0,0787847*B - 0,937812*C + 0,00647279*A^2 - 0,0000267857*A*B - 0,00446429*A*C + 0,00190914*B^2 - 0,00107292*B*C + 0,0886667*C^2$$

$$\% \text{ Acidez} = -6,36175 + 0,323869*A + 0,0884028*B + 1,64625*C - 0,00931803*A^2 - 0,00128571*A*B + 0,00392857*A*C - 0,00233391*B^2 + 0,00420833*B*C - 0,151146*C^2$$

En la [Tabla 4](#) se muestran los resultados de las variables independientes y variables respuestas optimizadas para pH y % Acidez obtenidas de la [Tabla 3](#). Con los resultados de la [Tabla 4](#) se puede asegurar que el mejor proceso de fermentación se realiza con la variedad de cacao CCN-51-Amarillo, con una frecuencia de remoción cada 24 horas, fermentado por 6 días, con valores finales de pH = 5,429 y % de acidez = 2,192, como se observa en la [Tabla 3](#), ensayo 14. Esto concuerda con lo encontrado por ([Álvarez et al., 2010](#)), en la que obtuvo el mayor grado de fermentación de cacao comercial en cajones de madera, con una frecuencia de remoción cada 24 horas, fermentado por 5 días, con intervalos de pH de 5,20 - 5,49. Estos resultados son similares a lo encontrado por ([Senanayake et al., 1996](#)), también a lo analizado mediante los valores de pH, absorción espectral, hidrólisis de proteínas y de clase vicilina globulinas de granos fermentados por ([Romero et al., 2013](#)) y las poblaciones de bacterias estudiado por ([Abdul et al., 1993](#)). Con los valores de pH y % de acidez evaluados durante la fermentación de granos de cacao del ensayo 14, [Tabla 3](#) se construyó la [Figura 1](#).

Tabla 3

Rendimiento promedio de pH, % Acidez, % Humedad y Visión Computacional, aplicando el diseño experimental Box-Behnken

Corrida	A	B	C	pH	% Acidez		L*	a*	b*	Lm*	am*	bm*
					%	Humedad						
1	7	12	6	6,221	0,673	38,21	82,2023	20,7581	32,1521	95,9414	2,6346	12,2623
2	7	36	6	6,340	0,809	34,91	92,2872	7,4239	15,7906	95,0852	4,5347	9,5831
3	21	12	6	5,760	1,949	29,20	91,2966	7,2570	20,6957	94,0151	9,3653	-1,4590
4	21	36	6	5,870	1,653	25,53	85,8361	10,6495	49,3997	95,1399	5,3199	6,7296
5	7	24	4	6,030	0,907	37,80	88,5584	7,3746	41,1127	90,5088	6,0716	33,9187
6	7	24	8	6,385	0,599	29,87	91,2587	8,7354	16,5021	85,8851	12,0017	43,2337
7	21	24	4	5,995	1,296	39,59	81,1816	19,3839	49,1156	96,1869	3,7916	5,9136
8	21	24	8	6,100	1,208	30,84	82,9475	18,1643	37,3819	95,8191	4,0132	7,2109
9	14	12	4	5,935	1,524	30,40	77,0132	6,7979	43,8458	91,3820	5,1514	30,0026
10	14	12	8	6,060	1,428	36,45	84,4580	14,0944	43,8677	94,2057	4,1248	15,8273
11	14	36	4	6,162	0,616	40,58	84,4932	12,3141	55,2402	94,7707	4,7786	11,0426
12	14	36	8	6,184	0,924	27,36	87,9569	12,7519	23,1607	96,2792	3,5764	6,2334
13	14	24	6	5,648	1,824	35,86	87,1567	9,6749	42,2297	94,4657	3,6453	16,0808
14	14	24	6	5,244	2,292	27,73	87,1358	9,8923	41,3938	96,7053	3,0744	5,7240
15	14	24	6	5,475	2,075	27,36	87,4189	9,0863	42,9455	95,2827	4,8212	7,0321

L*, a* y b*; Lm*, am* y bm*: Coordenadas de visión computacional grano entero y partido.

Tabla 4

Valores óptimos de las variables independientes y respuesta

Factor	Variables independientes				Variable respuesta	
	Bajo	Alto	Óptimo (pH)	Óptimo (% Ac.)	pH	% Acidez
A: Variedad de cacao	7,0	21,0	15,66	17,28		
B: Frecuencia de remoción	12,0	36,0	22,38	19,54	5,4288	2,1920
C: Fermentación	4,0	8,0	5,82	5,94		

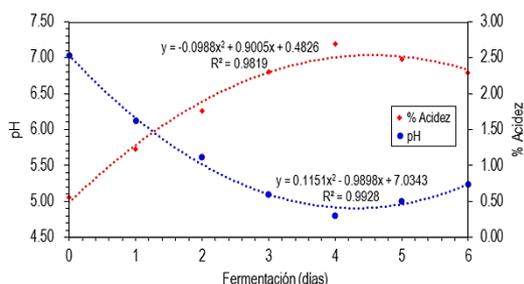


Figura 1. Δ de los valores de pH, % Acidez respecto a la fermentación (días).

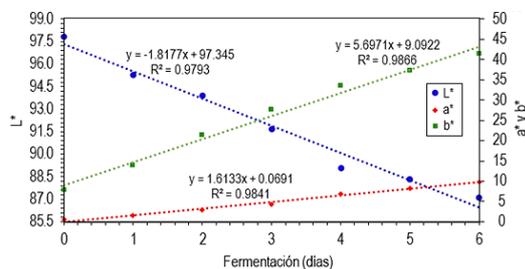
De la **Figura 1** se observa que en el proceso de fermentación del cacao CCN-51-Amarillo, la curva del pH tiene una función polinómica que varía de 7,03 a 5,24, inversamente a la curva del % de acidez que también tiene una función polinómica que varía de 0,56 a 2,29 al concluir la fermentación, similar a lo encontrado por **(García, 2018)**.

La acidez y el pH son parámetros críticos en la calidad del cacao usado por la industria chocolatera. El exceso de ácido acético producido por una mala fermentación causa efectos adversos sobre el “flavour” del chocolate **(Álvarez et al., 2010)**, lo que concuerda con **Vite (2018)**. El pH óptimo de los cacaos bien fermentados debe de ser de 5,1 - 5,7 y cuando este es menor a 5,0 indica presencia de ácidos no volátiles indeseables que dan al chocolate aromas desagradables, lo cual sucede en fermentaciones incompletas.

Según **García (2018)**, inicialmente los cotiledones de cacao poseen un pH casi neutro, el cual disminuye debido a la difusión de los ácidos formados en la fermentación de la pulpa externa. El autor menciona que la disminución del pH está asociada a la formación de ácido acético, cuya concentración aproximada es de 1,90 g ácido Acético / 100 g, el cual representa el 95-98 por ciento de los ácidos volátiles. Además, presenta pequeñas concentraciones de ácido láctico (0,7 g ácido láctico / 100 g), cuya contribución al pH es mínima, según **García (2018)**, el tiempo de fermentación tiene un efecto significativo ($\alpha = 0,05$) sobre el pH de los granos, el valor de pH disminuye progresivamente hasta el cuarto día de fermentación, para luego mantenerse constante y en el último día se verifica un pequeño incremento. El mismo autor indica que el pH de los granos de cacao tiende a aumentar en los últimos días de fermentación, debido a la formación de gradientes de acidez en la estructura del grano. La superficie del grano pierde acidez por evaporación debido a las altas temperaturas de fermentación, mientras que el centro se mantiene invariable.

En la **Figura 1** se observa que el % de acidez se incrementa progresivamente desde el día 0 (% Acidez = 0,56) hasta el día 4 (% Acidez = 2,69) luego disminuye hasta el día 6 (% Acidez = 2,29), según **(García, 2018)** la acidez total de las almen-

dras se incrementa con el tiempo de fermentación hasta el cuarto día y posteriormente tiende a disminuir. Estos cambios son similares entre las variedades analizadas y concuerda con lo investigado por García (2018). Dichos autores mencionan que el ácido acético es el principal producto formado en la fermentación aerobia y puede llegar a concentraciones de 1,9 g ácido Acético / 100 g al finalizar la fermentación. La concentración es parecida a las obtenidas por (García, 2018) para el final de la fermentación, donde los valores de acidez son de 2,04 y 2,33 % ácido acético para CCN-51 e ICS-6 respectivamente. Con respecto a este descenso, (García, 2018) mencionan que la concentración de ácido acético disminuye gradualmente debido a la volatiliza-



ción del ácido acético, inducido por las remociones o aireación y a las altas temperaturas.

Figura 2. Δ de los valores de $L^*a^*b^*$ respecto a la fermentación (días).

En la Figura 2 se observa la variación lineal del color de granos enteros de cacao del día 0 al día 6 tiempo que duró la fermentación, ΔL^* (97,85 - 87,14) de blanco a negro, Δa^* (0,65 - 9,89) de verde a rojo y Δb^* (7,88 - 41,39) de azul a verde, con valores de R^2 respectivos.

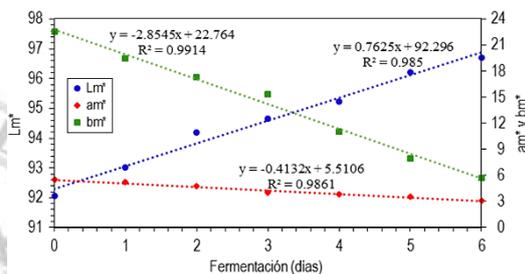


Figura 3. Δ de los valores de $Lm^*am^*bm^*$ respecto a la fermentación (días).

En la Figura 3 se observa la variación lineal del color de granos partidos de cacao CCN-51-Amarillo del día 0 al día 6 tiempo que duró la fermentación, ΔLm^* (92,06 - 96,71) de negro a blanco, Δam^* (5,49 - 3,07) de roja a verde y Δbm^* (22,56 - 5,72) de amarillo a azul, con R^2 correspondiente; similar a lo encontrado por (García, 2018).

El descenso de la luminosidad (L^*) se debe al oscurecimiento de los granos. Este fenómeno es producido por la hidrólisis de las antocianinas y la posterior oxidación de agliconas a compuestos quinónicos, los cuales contribuyen a la formación de compuestos pardos característicos del cacao fermentado (Ortiz *et al.*, 2009). La variación de la coordenada a^* , se debe al enrojecimiento de las antocianinas, ya que según Garzón (2008), estas macromoléculas sufren un cambio estructural en condiciones ácidas (Cation flavilio AH), teniendo como consecuencia un viraje de púrpura (pH cercano al neutro) al color rojo (pH ácido). Enmanuel *et al.* (2012) explican que el descenso del valor de a^* se debe a la hidrólisis de las antocianinas que imparten el color púrpura de las almendras de cacao.

En cuanto a la variación de b^* , color amarillo (+) y azul (-), la predominancia del color amarillo sobre el azul se debe al pardeamiento como consecuencia de la presencia de polifenoles oxidados por acción de la enzima polifenol oxidasa (Enmanuel *et al.*, 2012).

Los valores de $L^*a^*b^*$ y $Lm^*am^*bm^*$ varían según las investigaciones realizadas por los diferentes autores esta variación se debe a la variedad de cacao, método de fermentación, sistema de reporte de imagen empleado, tiempo de exposición de la muestra previo al análisis, entre otros, existiendo similitud entre todos en la función lineal del cambio de color del cacao durante la fermentación.

4. Conclusiones

Se ha fermentado cacao (*Theobroma cacao* L.) a partir de tres variedades: CCN-51-Rojo, CCN-51-Amarillo y Nacional, con resultados satisfactorios en la evaluación fisicoquímica, visión computacional, predominando el de mayor rendimiento en grano la variedad CCN-51-Rojo. Los valores óptimos de las variables independientes son: variedad de cacao CCN-51-Amarillo, con una frecuencia de remoción cada 24 horas, fermentado por 6 días, y variable respuesta pH 5,244, % de acidez 2,292 y los valores de visión computacional para grano entero $L^* = 87,1358$, $a^* = 9,8923$ y $b^* = 41,3938$ y para granos partidos $Lm^* = 96,7053$, $am^* = 3,0744$ y $bm^* = 5,7240$.

Del análisis de visión computacional, los valores optimizados varían linealmente durante la fermentación para granos enteros de cacao: ΔL^* de blanco a negro, Δa^* de verde a rojo, Δb^* de azul a verde y para granos partidos de cacao: ΔLm^* de negro a blanco, Δam^* de roja a verde, Δbm^* de amarillo a azul.

Los resultados de la variable respuesta pH y % de acidez varían con una tendencia polinómica durante la fermentación, Δ pH disminuye y Δ % Acidez se incrementa ambos son inversamente proporcionales. Estos resultados permiten conocer más sobre el proceso del cacao, para mejorar y optimizar la fermentación y su calidad.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), Universidad Nacional de Jaén (UNJ) y Universidad Nacional de Trujillo (UNT), por el apoyo logístico, de laboratorios, materiales, equipos y reactivos para realizar la investigación. Al Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA), por financiar la pasantía nacional "Análisis de la calidad de productos agropecuarios mediante inteligencia artificial" que permitió culminar la investigación.

ORCID

P.M. Huayama  <https://orcid.org/0000-0002-4892-5331>

R. Siche  <https://orcid.org/0000-0003-3500-4928>

5. Referencias bibliográficas

- Abdul, O.; Ibrahim, N.; Alimon, H.; Abdul Karim, M. 1993. Fermentation studies of stored cocoa beans. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 9: 603-604.
- Álvarez, C.; Tovar, L.; García, H.; Morillo, F.; Sánchez, P.; Girón, C.; De Farias, A. 2010. Evaluación de la calidad comercial del grano de cacao (*Theobroma cacao* L.) usando dos tipos de fermentadores. *Revista Científica UDO Agrícola* 10(1): 76-87.
- Bortolini, C.; Patrone, V.; Puglisi, E.; Morelli, L. 2016. Detailed analyses of the bacterial populations in processed cocoa beans of different geographic origin, subject to varied fermentation conditions. *International Journal of Food Microbiology* 236(7): 98-106.
- Enmanuel, O.; Jennifer, Q.; Agnes, S.; Jemmy, S.; Firibu, K. 2012. Influence of pulp-preconditioning and fermentation on fermentative quality and appearance of Ghanaian cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal* 19(1): 127-133.
- García, J. 2018. Correlación de la porosidad con el grado de fermentación del grano de cacao peruano (*Theobroma cacao* L.). Repositorio UNAL. Lima-Perú.
- Garzón, G. 2008. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos. *Acta Biológica Colombiana* 13(3): 27-36.
- Guíérrez, S. 2012. Efecto de la frecuencia de remoción y tiempo de fermentación en cajón cuadrado sobre la temperatura y el índice de fermentación del cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista Científica UDO Agrícola* 12(4): 914-918.
- Illegghems, K.; Pelicaen, R.; De Vuyst, L.; Weckx, S. 2016. Assessment of the contribution of cocoa-derived strains of *Acetobacter ghanensis* and *Acetobacter senegalensis* to the cocoa bean fermentation process through a genomic approach. *Food Microbiology* 58: 68-78.
- León, K.; Mery, D.; Pedreschi, F.; León, J. 2006. Color measurement in L*a*b* units from RGB digital images. *Food Research International* 39(10): 1084-1091.
- MINAGRI. 2014. Catálogo de Cultivares de Cacao del Perú. Ministerio de Agricultura y Riego, Lima-Perú.
- Montgomery, D. 2004. *Diseño y Análisis de Experimentos* (Segunda ed.). México: Limusa Wiley.
- Ortiz de Bertorelli, L.; Rovedas, L.; Graziani de Fariñas, L. 2009. Influencia de varios factores sobre índices físicos del grano de cacao en fermentación. *Agronomía Tropical* 59(1): 81-88.
- Romero, T.; Salgado, M.; García, P.; García, M.; Rodríguez, G.; Hidalgo, M.; Robles, V. 2013. Relationship between fermentation index and other biochemical changes evaluated during the fermentation of Mexican cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *Science of Food and Agriculture* 93(10): 596-604.
- Romero, C. 2016. Estudio del Cacao en el Perú y el Mundo Situación Actual y Perspectivas en el Mercado. MINAGRI-DGPA-DEEIA, Lima-Perú.
- Saldaña, E.; Siche, R.; Castro, W.; Huamán, R.; Quevedo, R. 2014. Measurement parameter of color on yacon (*Smallanthus sonchifolius*) slices using a computer vision system. *LWT - Food Science and Technology*: 1220-1226.
- Saldaña, E.; Siche, R.; Huamán, R.; Luján, M.; Castro, W.; Quevedo, R. 2013. Computer vision system in real-time for color determination on flat surface food. *Scientia Agropecuaria*: 55 - 63.
- Senanayake, M.; R Jansz, E.; A Buckle, K. 1996. Effect of Different Mixing Intervals on the Fermentation of Cocoa Beans. *Science of Food and Agriculture*: 42-48.
- Somarriba, E. 2012. Proyecto Cacao Centroamérica, CATIE. Calidad de Cacao en Centroamérica: Un vistazo a la situación en 2009. Serie Reuniones Técnicas N° 17., CATIE, Costa Rica.
- Tagro, S.; Adjéhi, T.; Kouadio, K.; Soumaila, D.; Louis, K.; Kra, D.; Gnopo, J. 2010. Performance of different fermentation methods and the effect of their duration on the quality of raw cocoa beans. *International Journal of Food Science and Technology*: 2508-2514.
- Utami, R.; Kobarsih, M.; Cahyaningrum, N. 2015. Fungi Level Analysis of Cocoa Beans Based on Fermentation Box Type and Duration. *Procedia Food Science ScienceDirect* 3: 371 - 382.
- Van, J.; Ingels, I.; De Winne, A. 2016. Inline roasting hyphenated with gas chromatography-mass spectrometry as an innovative approach for assessment of cocoa fermentation quality and aroma formation potential. *Food Chemistry* 205: 66-72.
- Vite, J. 2018. Evaluación de las características del licor de cacao CCN-51 (*Theobroma cacao* L.). Considerando diferentes aspectos de manejo en poscosecha. Trabajo de titulación, Santo Domingo.

